

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivica Krajnović

ANALIZA UTJECAJA RASVJETE NA SIGURNOST CESTOVNOG PROMETA

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, 2016.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA UTJECAJA RASVJETE NA SIGURNOST CESTOVNOG PROMETA
ANALYSIS OF THE IMPACT OF LIGHTING ON ROAD SAFETY**

Mentor: dr. sc. Grgo Luburić, izv. prof.

Student: Ivica Krajnović, 0135227062

Zagreb, 2016.

SAŽETAK

Ljudska potreba za mobilnošću stvorila je potrebu kvalitetnog osvjetljenja po danu, a tako i noću pomoću umjetnih izvora svjetlosti. Cestovna rasvjeta je čimbenik sigurnosti prometa koja stvara uvjete za bolje zapažanje te na taj način utječe na smanjenje broja prometnih nesreća ili ublažava njihove posljedice. Analiziranjem fizikalnih obilježja svjetlosti, značajki cestovne rasvjete, tehničke izvedbe te drugih bitnih pokazatelja vidi se na koji način rasvjeta utječe na sigurnost prometa te na samog čovjeka.

KLJUČNE RIJEČI: osvjetljenje; cestovna rasvjeta; čimbenik; svjetlost; sigurnost

SUMMARY

Human need for mobility created a need for quality lighting during the day and also during the night with the help of artificial sources of light. Road lighting is a factor of traffic safety which creates conditions for better perception and lowers the number of traffic accidents or mitigates their consequences. With the analysis of the physical characteristics of light, features of road lighting, technical performance and other important indicators it can be seen in what way lighting affects the traffic safety and the human himself.

KEYWORDS: illumination; road lighting; factor; light; safety

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. CESTOVNA RASVJETA KAO ČIMBENIK SIGURNOSTI PROMETA | 2 |
| 2.1. Utjecaj svjetlosti na čovjeka kao čimbenika sigurnosti prometa | 2 |
| 2.2. Svrha cestovne rasvjete | 3 |
| 2.3. Fizikalna i svjetlotehnička obilježja svjetlosti | 4 |
| 2.3.1. Svjetlosni tok | 5 |
| 2.3.2. Jakost svjetlosti | 6 |
| 2.3.3. Rasvjetljenost | 6 |
| 2.3.4. Luminacija | 6 |
| 2.4. Električni izvori svjetla | 8 |
| 2.4.1. Visokotlačna natrijeva žarulja (NAV) | 8 |
| 2.4.2. Visokotlačna živina žarulja (HQL) | 9 |
| 2.4.3. Visokotlačna metalhalogena žarulja (HQL) | 10 |
| 2.4.4. Niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E) | 11 |
| 2.4.5. Niskotlačna fluorescentna cijev (L) | 11 |
| 2.4.6. Fluokompaktna žarulja | 12 |
| 2.4.7. LED rasvjeta | 12 |
| 3. ANALIZA RASVJETE CESTA ZA MOTORNI PROMET | 14 |
| 3.1. Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet | 14 |
| 3.1.1. Razina sjajnosti površine kolnika | 14 |
| 3.1.2. Jednolikost sjajnosti površine kolnika | 15 |
| 3.1.3. Razina rasvjetljenosti okoline ceste | 16 |
| 3.1.4. Ograničenje blještanja | 17 |
| 3.1.5. Spektralni sastav izvora svjetlosti | 17 |
| 3.1.6. Vizualno i optičko vođenje | 18 |
| 3.2. Raspored i visina izvora svjetlosti cestovne rasvjete | 19 |
| 3.2.1. Centralni raspored izvora svjetlosti | 19 |
| 3.2.2. Jednostrani raspored izvora svjetlosti | 20 |
| 3.2.3. Dvostrani raspored izvora svjetlosti | 20 |
| 3.2.4. Kombinirani raspored izvora svjetlosti | 21 |
| 3.2.5. Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu | 22 |
| 3.2.6. Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste | 22 |
| 3.3. Klase javne rasvjete cesta za motorni promet | 23 |

| | |
|---|----|
| 4. ANALIZA RASVJETE TUNELA ZA MOTORNI PROMET | 25 |
| 4.1. Mjerila kvalitete rasvjete tunela za motorni promet | 25 |
| 4.1.1. Razina sjajnosti površine kolnika | 25 |
| 4.1.2. Razina sjajnosti površine zidova | 26 |
| 4.1.3. Jednolikost sjajnosti površine kolnika i zidova | 27 |
| 4.1.4. Ograničenje blještanja | 27 |
| 4.1.5. Spektralni sastav izvora svjetlosti | 27 |
| 4.1.6. Vizualno vođenje | 27 |
| 4.1.7. Ograničenje treperenja | 28 |
| 4.1.8. Ostala mjerila | 28 |
| 4.2. Raspored i visina izvora svjetlosti tunela | 28 |
| 4.3. Klase javne rasvjete tunela za motorni promet | 30 |
| 5. ANALIZA RASVJETE POSEBNIH MJESTA | 33 |
| 5.1. Mjerila kvalitete rasvjete prostora i ulica za pješački promet | 33 |
| 5.1.1. Razina rasvjetljenosti površine kolnika | 33 |
| 5.1.2. Jednolikost rasvjetljenosti površine kolnika | 34 |
| 5.1.3. Polucilindrična rasvjetljenost | 34 |
| 5.2. Rasvjetljavanje posebnih mjesta | 35 |
| 5.2.1. Križanje u razini | 35 |
| 5.2.2. Križanja u više razina | 35 |
| 5.2.3. Kružni tok | 36 |
| 5.2.4. Ceste u zavoju | 36 |
| 5.2.5. Kolnici na građevinama | 37 |
| 5.2.6. Kolnici u podvožnjaku | 37 |
| 5.2.7. Mjesta uključivanja i isključivanja iz prometa | 37 |
| 5.2.8. Prometne površine poslovno-uslužnih građevina | 38 |
| 5.2.9. Pješački prijelazi | 38 |
| 5.2.10. Pješački pothodnici | 38 |
| 5.2.11. Pješački nathodnici | 39 |
| 5.2.12. Pješački prolazi | 39 |
| 5.3. Klase javne rasvjete za prostore i ceste za pješački promet | 39 |
| 6. PRIJEDLOZI ZA POBOLJŠANJE CESTOVNE RASVJETE U SVRHU SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA | 41 |
| 6.1. Svjetlosno zagađenje | 41 |
| 6.2. Sustav regulacije rasvjete | 42 |
| 7. ZAKLJUČAK | 43 |

| | |
|-------------------------|----|
| POPIS LITERATURE | 46 |
| POPIS KRATICA | 47 |
| POPIS ILUSTRACIJA | 48 |

1. UVOD

Rasvjeta cesta aktivno doprinosi smanjenju rizika od nesreća koje uključuju ranjivije sudionike prometa. Svrha je rasvjete osigurati optimalne uvjete za percepciju u prometnom okruženju, osigurati minimalne propisane vrijednosti osvjetljenja prometnica te ravnomjernu rasvjetljenost i smanjenje efekta blještanja.

Suvremena javna rasvjeta umanjuje utisak blještanja i osigurava 70% veću ravnomjernost rasvjetljenosti. Na državnim cestama, vizualni se uvjeti mogu prilagoditi potrebama vozača. Međutim, lokalne i ceste u naseljenim područjima koriste i drugi sudionici prometa koji se kreću različitim brzinama. Stoga je iznimno bitno u cijeloj prometnoj zoni osigurati jednoličnu osvjetljenost koja će pogodovati vizualnim zadacima svakog sudionika u prometu, bilo da se radi o vozačima automobila, biciklistima ili pješacima. S druge strane, mora se paziti da pritom ne dolazi do „svjetlosnog zagađenja“ izazvanog prejakom rasvjetom u blizini prozora.

Budući da ni jedan sustav ne može jamčiti potpunu sigurnost, minimalnom kvalitetom cestovne rasvjete cesta za motorni promet označena je ona koja svojim tehničkim parametrima jamči da će 80 posto vozača prosječnih vidnih (i ostalih) sposobnosti moći na vrijeme uočiti i izbjeći opasnost.

Pri vožnji noću, duljina vidljivosti ovisi o osvjetljenju, tj. o svjetlosnim izvorima na prednjoj strani motornog vozila ili o stalnoj rasvjeti prometnica i čvorišta. Zaustavni put vozila u pravilu je veći od dometa svjetala na prednjoj strani vozila, pa samo kvalitetna cestovna rasvjeta može jamčiti sigurno zapažanje mogućih zapreka na tim udaljenostima.

2. CESTOVNA RASVJETA KAO ČIMBENIK SIGURNOSTI PROMETA

2.1. Utjecaj svjetlosti na čovjeka kao čimbenika sigurnosti prometa

Čovjek kao vozač u prometu svojim osjetilima prima obavijesti vezane za prilike na cesti te uzevši u obzir vozilo i prometne propise, određuje način kretanja vozila. Od svih čimbenika koji utječu na sigurnost prometa, utjecaj čimbenika "čovjek" je najvažniji.

Pri razmatranju ponašanja čovjeka (vozača) u cestovnom prometu, treba poći od toga da je vozač dio sustava koji na osnovi dobivenih obavijesti donosi odluke i regulira način kretanja vozila. Postoje velike razlike u ponašanju čovjeka u različitim situacijama. Te razlike u ponašanju ovise o stupnju obrazovanja, o zdravstvenom stanju, starosti, temperamentu, moralu, osjećajima, inteligenciji i si.

U obavješćivanju vozača najvažniji je osjet vida. Više od 95 posto svih odluka koje vozač donosi ovisi o tim organima. Pritom je osobito važno prilagođavanje oka na svjetlo i tamu. To je sposobnost brzog zamjećivanja nakon promjene intenziteta svjetlosti. Za vozača je osobito važna pri prolasku kroz tunel, pri zasljepljivanju svjetlima iz suprotnog smjera i sl.

Za vrijeme zasljepljenosti vozač gubi osjećaj položaja te brže uočava osvijetljene predmete, a neosvijetljene vidi znatno kasnije. Brzina prilagođavanja oka pri prijelazu iz svjetla u tamu ovisi o jačini svjetla i o duljini trajanja svjetla kojem je oko bilo izloženo. Prilagođavanje na tamu traje 40-60 minuta, a potpuno prilagođavanje pojavljuje se tek nakon nekoliko sati. Ako je oko bilo dulje izloženo svjetlu, prilagođavanje je sporije, pa se zbog toga preporučuje vozačima da noću ne počinju voziti odmah nakon što su izišli iz osvijetljene prostorije. Vrijeme potrebno za prilagođavanje oka pri prijelazu iz tame na svjetlo pri izlasku iz tunela znatno je kraće (šest puta) nego pri prijelazu iz svjetla u tamu (pri ulasku u tunel).

Prilagođavanje oka na bljesak je nejednoliko. U normalnim uvjetima zjenica ima promjer 2,5-3,0 mm, proširena zjenica 7,0-8,0 mm, a promjer stisnute zjenice je 1,0-2,0 mm. Zjenici je potrebno 5-6 sekundi da se stisne, a 30-35 sekundi da se opet vrati na istu širinu. U toj razlici vremena vozilo se kreće bez potpune kontrole. Stoga je potrebno, radi sigurnijeg kretanja, pogled oka usmjeriti na vanjski rub kolnika.

Starost vozača i individualna razlika u tijesnoj su vezi sa sposobnošću prilagođavanja oka. Starenjem se sposobnost prilagođavanja smanjuje. Isto tako, način ishrane, pušenje, ugljični monoksid i nedostatak kisika u tijesnoj su vezi sa sposobnošću prilagođavanja oka na tamu. Prilagođavanje oka na tamu ovisi i o duljini vala svjetlosti koje zaslijepljuje. Dulje izlaganje blještavom svjetlu smanjuje vrijeme prilagođavanja oka, te se u takvim slučajevima preporučuje nošenje tamnih naočala.

2.2. Svrha cestovne rasvjete

Svaki se vozač u prometu oslanja na određenu razinu vlastitog zapažanja, definiranog kao sposobnost da tijekom vožnje trajno selekcionira i podsvjesno reagira na one dijelove vidnih obavijesti koje mu jamče vlastitu sigurnost u vožnji. Pouzdanost zapažanja ovisi najviše o vozačevoj sposobnosti brzog i sigurnog uočavanja svih pojedinosti i promjena u vlastitom vidnom polju, a i izvan njega. Cestovna rasvjeta mora omogućiti takve uvjete viđenja noću koji jamče:

- vozačima motornih, zaprežnih i drugih vozila te biciklistima što sigurniju vožnju
- pješacima zapažanje potencijalne opasnosti te stjecanje dojma opće sigurnosti pri kretanju prometnicom
- vozačima i pješacima što bolje zapažanje kako cjeline tako i važnih detalja njihove vidne okoline.

Rasvjeti prometnica s pretežito motornim prometom treba obratiti posebnu pozornost jer se zahtjevi vozača za dobrom vidljivošću znatno razlikuju od zahtjeva pješaka. Sustavi cestovne rasvjete koji jamče maksimalno sigurnu i udobnu vožnju na cesti noću te vožnju danju i noću pri prolazu kroz tunel smatraju se kvalitetnim. Kvalitetna cestovna rasvjeta općenito:

- pridonosi smanjenju prometnih nesreća
- otklanja loše posljedice efekta "crnog otvora" i "crnog okvira" pri ulazu u tunel i izlazu iz tunela danju ili noću
- omogućuje brže kretanje motornih vozila, a time i povećanje propusne moći
- pridonosi većem iskorištenju cestovne mreže noću
- jamči sigurno kretanje pješaka

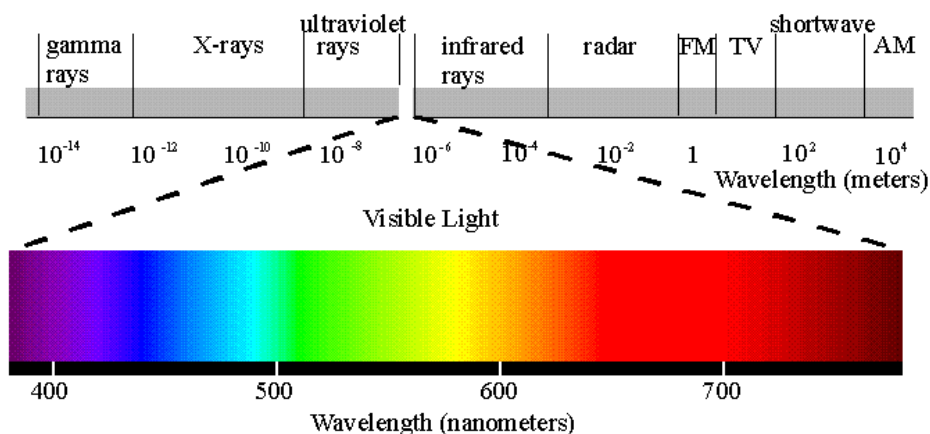
Prema ispitivanjima provedenim u SADu i u Francuskoj, dobrom rasvjetom smanjuje se broj prometnih nesreća za 35 posto u odnosu na prometnice koje su slabo ili uopće nisu rasvijetljene. Dobrom rasvjetom povećava se i udobnost vožnje, smanjuje zamor vozača, a prometno se opterećenje jednoličnije raspoređuje u dvadeset četiri sata. Stupanj sigurnosti vožnje noću ne smije biti manji od stupnja sigurnosti danju.

Rasvjeta prometnih građevina mora biti takva da vozač na vrijeme uoči eventualnu zapreku, da ima dovoljnu preglednost i da je siguran u prohodnost prometnice. Pritom je potrebno osigurati jednoličnost cestovne rasvjete i istaknuti kraitična mjesta (križanja, mostove, skretanja i sl.). S obzirom na vožnju, rasvjeta mora zadovoljavati ove uvjete:

- tijekom vožnje prometnica mora biti vidljiva u svim detaljima
- trasa prometnice mora biti uočljiva i označena vizualno, tj. opremljena različitim pomoćnim sredstvima, kao što su smjerokazi, "mačje oči", rubne crte i sl.
- sva opasna mjesta treba istaknuti kako bi vozač mogao na vrijeme primjetiti
- mora biti osigurana udobnost vidljivosti da se vozač ne napreže tijekom vožnje
- treba osigurati jednoličnu rasvjetu cijele prometnice
- sva horizontalna i vertikalna signalizacija i drugi uređaji moraju biti vidljivi i ne smiju zaslijepljivati vozača

2.3. Fizikalna i svjetlotehnička obilježja svjetlosti

Fizikalnim se veličinama svjetlost opisuje u onom djelu gdje svjetlost promatramo energetski, kao elektromagnetski val ili kao energetska česticu. Svjetlost možemo opisati kao elektromagnetsko zračenje koje osim vidljivoga ljudskom oku uključuje i ultraljubičasto i infracrveno zračenje. Vidljiva svjetlost sastoji se od dijela spektra elektromagnetskih valova u rasponu valnih duljina od 380 do 780 nm koje ljudsko oko razlikuje kao boje, od ljubičaste s najmanjom do crvene s najvećom valnom duljinom.

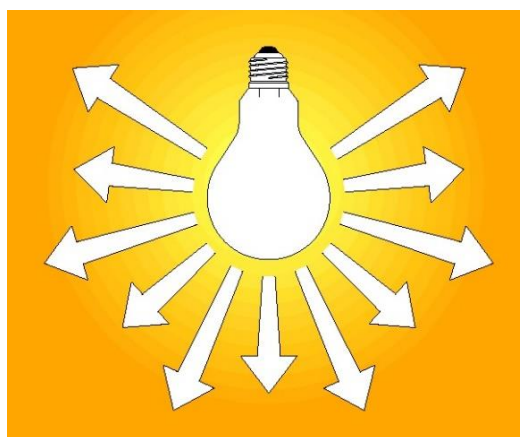


Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja

Svjetlotehničke odnosno fotometrijske veličine vrednuju svjetlost na temelju osjetilnog efekta i ograničene su samo na vidljivo zračenje spektra 380 do 780 nm. U te veličine ubrajamo svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvijetljenost i luminaciju.

2.3.1. Svjetlosni tok

Svjetlosni tok (Φ) predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u svim smjerovima. Ovo zračenje ljudsko oko vrednuje kao svjetlost prema krivulji osjetljivosti ljudskog oka. Jedinica za svjetlosni tok je lumen (lm). To je izvedena jedinica SI sustava - točkasti izvor svjetla ima svjetlosni tok od 1 lm kada u prostorni kut od 1 sr (steradian) zrači jakošću svjetlosti od 1 cd (kandela).



Slika 2. Zračenje koje emitira izvor svjetla

2.3.2. Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti (I) predstavlja snagu zračenja koju emitira izvor svjetla u određenom smjeru. Jedinica za jakost svjetlosti je kandela (cd). To je osnovna jedinica SI sustava - definirana kao jakost svjetlosti koju u određenom smjeru zrači monokromatski izvor svjetla frekvencije 540×10^{12} Hz i snage zračenja u tom smjeru od $1/683$ W/sr.

Jakost svjetlosti može se predstaviti vektorom. Spajanjem svih vrhova vektora u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobiva se krivulja distribucije jakosti svjetlosti (fotometrijska krivulja). Obično se kod prikaza fotometrijske krivulje odabiru standardizirane ravnine.

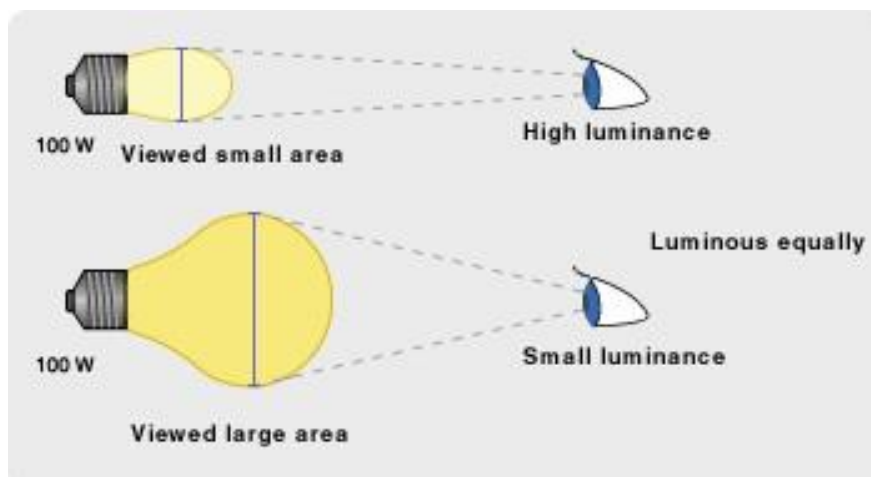
2.3.3. Rasvjetljenost

Rasvjetljenost (E) je mjerilo za količinu svjetlosnog toka koja pada na određenu površinu. Jedinica za rasvjetljenost je lux (lx) i to je izvedena jedinica SI sustava. Lux je definiran kao rasvjetljenost 1 kvadratnog metra na koji pada ravnomjerno raspodijeljen svjetlosni tok od 1 lm. Radi se o isključivo računskoj veličini, koju naše oko ne primjećuje.

Budući da je rasvjetljenost proračunska svjetlotehnička veličina koja ovisi samo o položaju svjetiljki, njihovom svjetlosnom toku i udaljenosti od površine, a pri tome ne uzima u obzir položaj promatrača i refleksijska svojstva kolnika, što je važno pri proračunu dinamičkih uvjeta vožnje i udobnosti, može se koristiti samo pri proračunu manje zahtjevnih prometnica (spore ceste), odnosno pri proračunu urbane i reflektorske rasvjete.

2.3.4. Luminacija

Luminancija (L) je sjajnost rasvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko. Mjeri se u kandelama po površini (cd/m^2), a za izvore svjetlosti često se koristi i prikladniji oblik (cd/cm^2). Oko posebno dobro vidi razliku između luminancija. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti.



Slika 3. Različiti izvori svjetlosti jednake jakosti, ali različite luminacije

Luminancija opisuje fiziološki učinak svjetlosti na oko te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete. Kod javne rasvjete vrijednosti za javnu rasvjetu daje se u cd/m^2 (luminancija). Pri tome se definira koeficijent luminancije q (sr^{-1}), koji osim o vrsti materijala ovisi i o položaju izvora svjetlosti i promatrača, a da pri tome vrijedi: $L = q \times E$.

Razina luminacije je najvažniji pokazatelj kvalitete rasvjetnog sustava. Budući da razina luminacije utječe na kontrastnu osjetljivost, poželjno je da luminacija bude što veća. Ispitivanja su pokazala da je optimalna luminacija za cestovnu rasvjetu $2.0 \text{ cd}/\text{m}^2$, ali ona je opravdana samo za brze ceste i autoceste, pa se ovisno o tipu ceste preporuča luminacija od $0.5 \text{ cd}/\text{m}^2$ do $2.0 \text{ cd}/\text{m}^2$. Za ocjenjivanje se koristi prosječna luminacija kolnika L_m . Luminacija ovisi o :

- fotometrijskim karakteristikama svjetiljke
- položaju svjetiljki u odnosu na cestu
- refleksnih svojstava kolnika
- položaja promatrača
- za rasvjetne sustave definiraju se klase cestovne rasvjete M1 (autoceste i brze ceste) – M5 (lokalne ceste s malom brzinom prometa)

Preporučuju se sljedeće vrijednosti luminacije:

- M1 – $2,0 \text{ cd}/\text{m}^2$
- M2 – $1,5 \text{ cd}/\text{m}^2$
- M3 – $1,0 \text{ cd}/\text{m}^2$

- M4 – 0,75 cd/m²
- M5 – 0,5 cd/m²

2.4. Električni izvori svjetla

Električna se energija pretvara u svjetlosnu u izvorima svjetlosti na principu temperaturnog zračenja ili luminiscencije. Stoga se svi današnji električni izvori svjetlosti dijele u dvije osnovne skupine:

- izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama
- izvori svjetlosti s užarenom niti
- LED rasvjeta

Izvori svjetlosti s izbijanjem u plemenitim plinovima i metalnim parama nemaju metalne spirale. Ti se izvori dijele u dvije skupine ovisno o tomu je li plin ili metalna para pod niskim ili visokim tlakom.

U sustavima cestovne rasvjete u pravilu se primjenjuju električni izvori svjetlosti na osnovi izbijanja kroz plinove i metalne pare, i to:

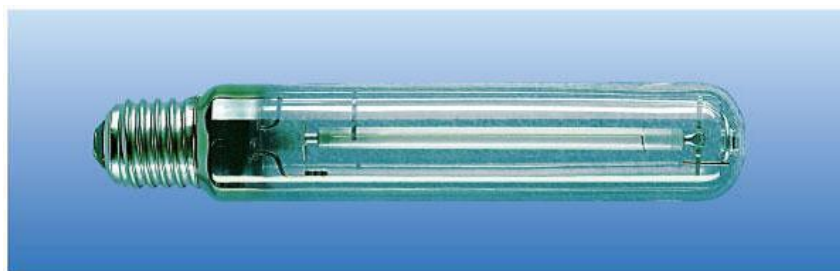
- visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)
- visokotlačna živina žarulja (HQL)
- visokotlačna metalhalogena žarulja (HQL)
- niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E)
- niskotlačna fluorescentna cijev (L)
- fluokompaktna žarulja

2.4.1. Visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)

Visokotlačne natrijeve žarulje (NAV) izvori su svjetlosti na osnovi izbijanja kroz natrijeve pare visokog tlaka pri čemu dolazi do emisije žutobijele boje svjetlosti s relativno dobrim indeksom reprodukcije boje, ovisno o izvedbi, što omogućuje njihovu široku primjenu, posebno u sustavima cestovne rasvjete.

Kod natrijevih žarulja izboj se događa u natrijevim parama uz dodatak ksenona za lakši start i povećanu iskoristivost i male količine žive. Pogonski tlak je 20-40 kPa. NAV postižu najveću iskoristivost do 150 lm/W, ali uz slabiji uzvrat boje i toplu (žutu) temperaturu boje (2000K). Te karakteristike su zadovoljavajuće i natrijeve žarulje predstavljaju najbolje rješenje za cestovnu rasvjetu.

Prednosti su im dobra svjetlosna iskoristivost, velika trajnost, dobro reproduciraju boje i malih su dimenzija. Nedostatci su im velika sjajnost (luminacija) te potreba posebnog uređaja za paljenje. Prosječan vijek trajanja im je 32.000 sati.



Slika 4. Visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)

2.4.2. Visokotlačna živina žarulja (HQL)

Živine žarulje su najstarije žarulje na izboj. One su izvori svjetlosti na osnovi izbijanja kroz živine pare visokog tlaka u kvarcnom žišku žarulje pri čemu nastaje veoma intenzivno vidljivo i nevidljivo ultraljubičasto zračenje, uglavnom plave i zelene boje.

Pogonski tlak iznosi od 200-400 kPa, i bitno utječe na karakteristike spektra zračenja, koji je uglavnom u hladnijem području (4000K) te ostvaruje iskoristivost od 60 lm/W. Start se postiže pomoću startne elektrode (SE), a za pogon je potrebna prigušnica. Imaju prosječan vijek trajanja od 16.000 sati.

S obzirom na dobru svjetlosnu iskoristivost, relativno povoljan indeks reprodukcije boja, veliku trajnost, lako rukovanje i pouzdanost u pogonu, ovi izvori svjetlosti još uvijek se često primjenjuju u sustavu cestovne rasvjete. Nedostatak je velika luminacija, pa se mogu koristiti u svjetiljkama zasjenjenog ili poluzasjenjenog tipa.



Slika 5. Visokotlačna živina žarulja (HQL)

2.4.3. Visokotlačna metalhalogena žarulja (HQL)

Visokotlačne metalhalogene žarulje (HQL) posebna su izvedba visokotlačnih živinih žarulja, nastale u želji za dobivanjem izvora svjetlosti s poboljšanim spektrom, a bez primjene luminofora. Po konstrukciji, visokotlačna metalhalogena žarulja slična je visokotlačnoj živinoj žarulji, a proizvodi se u tri osnovne izvedbe:

- u elipsoidnom balonu s luminoforom ili bez
- u prozirnom cjevastom balonu (T izvedba)
- u prozirnom cjevastom balonu (TS izvedba)

Metalhalogenidi se raspadaju pri višim temperaturama, nakon čega metali generiraju vidljivo zračenje kompletnog spektra. Približavanjem hladnijoj stijenci balona, oni ponovno rekombiniraju i ciklus se ponavlja. Tlak plina je 400 kPa–2 hPa. Dodatkom metalhalogenida postiže se puno kvalitetnije svjetlo i viša iskoristivost (do 120 lm/W). Kombiniranjem različitih metala moguće je dobiti i različite temperature boje od 3000K–6500K.

Visokotlačna metalhalogena žarulja suvremeni je izvor svjetlosti relativno visoke svjetlosne iskoristivosti, veoma dobrog indeksa reprodukcije boja i velike trajnosti, ovisno o izvedbi i nominalnoj snazi. Boja svjetlosti HQL žarulja općenito je toplobijela, neutralno bijela i boja dnevne svjetlosti. Prednosti si dobro svjetlosno djelovanje i dobra reprodukcija boja. Nedostatak im je velika luminacija, pa se upotrebljavaju u poluzasjenjenim svjetiljkama.



Slika 6. HQI žarulja u prozirnom cjevastom balonu (T izvedba)

2.4.4. Niskotlačna natrijeva cijev (SOX-E)

Niskotlačne natrijeve cijevi izvori su svjetlosti na osnovi izbijanja kroz natrijeve pare niskog tlaka pri čemu nastaje karakteristična monokromatska svjetlost natrijevih para izrazito žutonarančaste boje. Svojstvo reprodukcije boja niskotlačne natrijeve cijevi izrazito je slabo, jer se bijela boja reproducira kao žuta, a sve su ostale predstavljene crnom bojom u više tonova. To uvelike ograničuje primjenu niskotlačne natrijeve cijevi. No, kako je valna duljina maksimalnog zračenja vidljive svjetlosti ovog izvora veoma blizu valne duljine na kojoj je ljudsko oko najosjetljivije, i svjetlosna je učinkovitost ovih izvora veoma velika, pa ih čini prikladnim za široku primjenu u uvjetima i prostorima u kojima je poželjna pojačana oštrina zapažanja. To su uglavnom prometnice s čestim maglama.

Svjetlosna iskoristivost niskotlačne natrijeve cijevi najveća je među svim poznatim električnim izvorima svjetlosti. Srednja optimalna trajnost niskotlačnih natrijevih cijevi je od 14.000-24.000 sati gorenja.

2.4.5. Niskotlačna fluorescentna cijev (L)

Niskotlačne fluorescentne cijevi (L) izvori su svjetlosti na osnovi izbijanja kroz živinu paru niskog tlaka pri čemu nastaje ultraljubičasto nevidljivo zračenje koje se luminoforom nanesenim na unutarnju stijenku staklene cijevi pretvara u vidljivu svjetlost. Zavisno od vrste luminofora, postižu se i različite boje izvora svjetlosti.

Fluorescentne cijevi punjene su plemenitim plinovima, kriptonom i argonom, uz nekoliko miligrama žive. Svjetlotehnička svojstva određene kombinacije triju prahova su takva da se ultraljubičasto zračenje koje nastaje pri izbijanju u cijev pretvara u po jedno od triju područja valnih duljina vidljivog spektra i to: narančastocrvenu, zelenu i plavoljubičastu. Mješavina tih triju boja daje bijelu svjetlost s visokim indeksom reprodukcije boja i dobrom svjetlosnom iskoristivošću.

2.4.6. Fluokompaktna žarulja

Važnu skupinu izvora svjetlosti, koji se sve više primjenjuju u sustavima cestovne rasvjete, čine suvremene fluokompaktne žarulje DULUX. To su izvori malih snaga, relativno malih dimenzija i velike ekonomičnosti. Fluokompaktne žarulje su zapravo savinute fluorescentne cijevi, čime se postižu manje ukupne dimenzije izvora svjetlosti, dok se zadržavaju sve karakteristike rada fluorescentnih cijevi.

Fluokompaktne žarulje pripadaju grupi niskotlačnih žarulja na izboj, pri čemu se svjetlost generira principom fotoluminiscencije. Izboj se dešava između elektroda u živinim parama, a osim žive u punjenju se obično nalazi i neki inertni plin, kao pomoć pri startanju (argon, kripton, neon, ksenon i sl.).

Primjenjuju se ograničeno u posebnim područjima. Osnovne značajke fluokompaktnih žarulja su da se priključuju se izravno na napon 230V i imaju dobru svjetlosnu iskoristivost. Imaju povoljnu boju spektra te visok čimbenik reprodukcije boja. Ne bliješte, trenutačno se pale i pri -30°C i imaju veliku trajnost (10.000 sati) te su jednostavne za rukovanje.

2.4.7. LED rasvjeta

LED rasvjeta je relativno nova vrsta rasvjete. Kolika je njihova prednost u odnosu na druge načine rasvjete dovoljno govori činjenica da je životni vijek LED rasvjetnih tijela i do 100.000 sati. LED svjetla se nalaze u polovini semafora na prometnicama SAD-a, u poslovnim zgradama i trgovinama.

Svjetlosne diode temelje se na poluvodičima koji pretvaraju električnu struju direktno u svjetlost. Samo nekoliko milimetara dugačka, LED rasvjeta je korisna alternativa za klasične

izvore svjetla u mnogim područjima opće rasvjete gdje također otvaraju do sada nepoznate mogućnosti i perspektive. LED dioda koja emitira svjetlo sastoji se od nekoliko slojeva poluvodičkog materijala.

Ukoliko je dioda pravilno priključena, svjetlo se proizvodi u jednom od ovih tankih slojeva, u aktivnom sloju. Nasuprot žaruljama sa žarnom niti koje proizvode kontinuirani spektar, LED daje samo određene boje, a da bi se npr. dobila bijela svijetlost, fosfor u LED-u se pobuđuje emisijom svjetla plave diode kako bi davao žuto svjetlo. Koncentracija fosfora se prilagođava na tu razinu, da se plavo i žuto svjetlo miješaju da bi se dobila bijela svjetlost sa indeksom uzvrata boje 80.



Slika 7. LED žarulja

3. ANALIZA RASVJETE CESTA ZA MOTORNI PROMET

3.1. Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet

Definiranje mjerila kvalitete rasvjete cesta s motornim prometom temelji se na konceptu luminacije (sjajnosti), jer je sposobnost prilagodbe oka definirana sjajnošću površine kolnika. Bit je same primjene koncepta luminacije zapažanje predmeta obrisno (silueta), što se može postići kvalitetnom rasvjetljenošću površine kolnika na kojoj će se, kao na pozadini, ocrtati moguća zapreka (pozitivna silueta).

Na cesti se mogu pojaviti i predmeti jednako svijetli ili nešto svjetliji od površine kolnika i zapaziti se kao vidljivi predmeti s kojih se svjetlo odražava (negativna silueta). Također, pri velikoj količini prometa samo je manji dio ceste vidljiv, jer je veći dio zaklonjen od mnoštva vozila, pa je mjerodavna površina na kojoj bi se mogli ocrtati mogući predmeti smanjena. Unatoč tim poteškoćama, primjena prihvatljivih vrijednosti razine i jednolikosti luminancije površine kolnika, uz odgovarajuće ograničenje blještanja, opće je prihvaćena.

Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet koja trebaju jamčiti dobru vidljivost i određenu kvalitetu vidne udobnosti su:

- razina sjajnosti površine kolnika
- jednolikost sjajnosti površine kolnika
- razina rasvjetljenosti okoline ceste
- ograničenje blještanja
- spektralni sastav izvora svjetlosti
- vizualno i optičko vođenje

3.1.1. Razina sjajnosti površine kolnika

Sjajnost neke određene točke rasvjetljene površine kolnika općenito ovisi o svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, geometriji instalacije javne rasvjete i refleksijskim svojstvima rasvjetljene površine kolnika. Razina sjajnosti površine kolnika mora biti takva da se ostvari vidljivost koja osigurava dovoljnu udobnost vidljivosti i sigurnosti vožnje. Srednja sjajnost površine kolnika definirana je izrazom:

$$L_m = \frac{\sum L_T}{N} [\text{cd/m}^2]$$

gdje je:

L_T – sjajnost neke točke (male površine) s približno konstantnom vrijednošću sjajnosti promatrane površine kolnika

N – broj točaka promatrane površine

Srednja razina sjajnosti suhe površine kolnika L_m od 2 cd/m^2 pokazala se u praksi najprihvatljivijim rješenjem između zahtjeva dobre vidljivosti i ekonomičnosti instalacije cestovne rasvjete.

3.1.2. Jednolikost sjajnosti površine kolnika

Jednolikost sjajnosti površine kolnika znatno utječe na vidnu udobnost zapažanja vozača. Za osiguranje dobre vidljivosti odlučujuća je opća jednolikost sjajnosti kolničke površine koja se definira na slijedeći način:

$$jL = \frac{L_{\min}}{L_m} * 100 [\%]$$

gdje je:

L_{\min} – minimalna vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenog proračunskog polja

L_m – srednja vrijednost sjajnosti površine kolnika unutar određenog proračunskog polja

Opća jednolikost općenito ovisi o svjetlotehničkim značajkama zračenja svjetiljki, svjetlosnom toku izvora svjetlosti, refleksijskim svojstvima rasvjetljene površine kolnika i o geometriji instalacije cestovne rasvjete. Smanjenje opće jednolikosti sjajnosti znatno utječe na smanjenje snage detekcije cestovne rasvjete.

Uzdužna jednolikost sjajnosti površine kolnika važna je zbog opće udobnosti zapažanja pri vožnji cestom te ovisi o istim značajkama kao i opća jednolikost. Uzdužna jednolikost odlučujuće je mjerilo ocjene kvalitete rasvjetljenosti neke površine kolnika. Najmanje prihvatljive vrijednosti uzdužne jednolikosti ovise o razini srednje sjajnosti i o razmaku izvora svjetlosti. Uzdužna jednolikost sjajnosti definirana je izrazom:

$$jLu = \frac{L_{\min}(u)}{L_{\max}(u)} * 100 [\%]$$

gdje je:

$L_{\min}(u)$ – najmanja vrijednost sjajnosti po sredini svakog prometnog traka promatrana iz sredine samog prometnog traka

$L_{\max}(u)$ – najveća vrijednost sjajnosti po sredini svakog prometnog traka promatrana iz sredine samog prometnog traka

Poprečna jednolikost sjajnosti jLp kolničke površine omogućuje sigurno zamjećivanje, a određena je izrazom:

$$jLp = \frac{L_{\min}(p)}{L_{\max}(p)} * 100 [\%]$$

gdje je:

$L_{\min}(p)$ – najmanja vrijednost sjajnosti u bilo kojoj poprečnoj osi prometne površine kolnika

$L_{\max}(p)$ – najveća vrijednost sjajnosti u bilo kojoj poprečnoj osi prometne površine kolnika

Iz ekonomskih je razloga katkad nužno prihvatiti nešto niže vrijednosti jednolikosti rasvjete. U tom je slučaju bolje zadržati vrijednosti za srednju jednolikost koja jamči dobru vidljivost, a za uzdužnu jednolikost uzeti nešto niže vrijednosti, tj. smanjiti udobnost promatranja.

3.1.3. Razina rasvjetljenosti okoline ceste

Dobra cestovna rasvjeta jamči da će se na kvalitetno rasvjetljenoj kolničkoj površini, kao pozadini, zapaziti prepreka efektom pozitivne siluete. Problem može nastati kod relativno visoke prepreke pri vožnji u zavoju ili usponu gdje se dio prepreke ne može uočiti zbog tamne pozadine ili nerasvjetljene okoline ceste. Stoga je neophodno rasvjetliti i neposrednu okolinu ceste radi sigurnijeg i udobnijeg zamjećivanja.

U naseljima, gdje se uz prometnicu kreću pješaci, rasvjeta okoline je posebno važna kako bi vozač na vrijeme uočio kretanje pješaka. Pri svjetlijoj okolini prometnice, treba kvalitetnom rasvjetom (povisiti razinu srednje sjajnosti) istaknuti površinu kolnika kako bi se

zajamčila ista razina pouzdanosti zapažanja, a pri tamnoj okolini treba veću pozornost obratiti na rasvjetu okoline dok se pri tome na kolniku može zadržati i niža razina.

Ispravnim se smatra da pojas koji se nalazi pet metara od ruba kolnika treba rasvijetliti do razine koja iznosi 50 posto razine sjajnosti susjednih pet metara površine kolnika.

3.1.4. Ograničenje blještanja

Blještanje nastaje kad se u vidnom polju vozača pojavi neki izvor svjetla čija je jakost u pravcu promatranja znatno veća od one u drugim okolnim pravcima. Blještanje znatno smanjuje vidljivost. Osnovni pokazatelji vidnosti koji se smanjuju povećanjem blještanja jesu:

- osjetljivost na kontrast (tu se razumijeva osjetljivost zapažanja razlike u osvjetljenosti)
- oštrina vida (sposobnost zapažanja detalja)
- brzina zapažanja

Dvije su vrste blještanja:

- fiziološko blještanje koje trenutačno smanjuje sposobnost sigurnog zamjećivanja
- psihološko blještanje, koje trajno smanjuje sposobnost udobnog zamjećivanja

Smanjenje blještanja postiže se primjenom zasjenjenih svjetiljki za odgovarajuću definiranu klasu javne rasvjete.

3.1.5. Spektralni sastav izvora svjetlosti

Spektralni sastav izvora svjetlosti određuje njegovu boju i boju rasvijetljenih predmeta, a osjetno utječe na:

- oštrinu vida (pri monokromatskoj svjetlosti oko oštrije fokusira predmete)
- subjektivnu ocjenu kvalitete sjajnosti površine kolnika
- subjektivnu ocjenu snošljivosti psihološkog blještanja
- brzinu zapažanja
- vrijeme regeneracije oka nakon zablještjenja

Uspoređujući kvantitativne vrijednosti utjecaja spektralnog sastava dvaju karakterističnih izvora svjetlosti (niskotlačna natrijeva cijev, visokotlačna živina žarulja), može se zaključiti:

- kod instalacija s visokotlačnom živinom žaruljom, ista razina oštrine vida zahtjeva 50 posto višu razinu srednje sjajnosti površine kolnika
- izmjerena vrijednost sjajnosti površine kolnika u sustavu s visokotlačnom živinom žaruljom približno je za 35 posto viša od one u sustavu sa niskotlačnom natrijevom cijevi, za istu subjektivnu ocjenu kvalitete cestovne rasvjete
- za istu ocjenu tolerancije psihološkog blještanja dopuštena vrijednost jakosti svjetlosti svjetiljke za upadni kut $\gamma = 80^\circ$ u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi približno je za 40 posto veća
- za istu sjajnost površine kolnika brzina zapažanja u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi je približno 40 posto veća
- potrebno vrijeme regeneracije oka je za oko 25 posto kraće u instalacijama s niskotlačnom natrijevom cijevi

Općenito se može zaključiti da su izvori svjetlosti na temelju natrijevih para oko 30 posto učinkovitiji od živinih visokotlačnih izvora. Pri tomu su nešto lošiji rezultati za natrijeve visokotlačne žarulje od onih niskotlačnih natrijevih cijevi.

3.1.6. Vizualno i optičko vođenje

Vizualno vođenje predstavlja sklop mjera koje vozaču pružaju trenutačno jasnu sliku smjera pružanja ceste i to preko udaljenosti koja jamči sigurno zaustavljanje. Rasvjeta na cesti mora istaknuti površinu kolnika u odnosu prema okolini te opremu ceste (oznake na cesti, branike i sl.). Na nerasvjetljenoj cesti vizualno je vođenje noću ograničeno na prostor unutar dometa automobilske rasvjete.

Dobro optičko vođenje u instalacijama javne rasvjete jamči udobnost vožnje. Dobrim rasporedom stupova treba ostvariti sklad ukupnih cestovnih pravaca u perspektivnoj slici prometnice. Razmještaj stupova valja sagledati iz perspektivnog položaja vozača. Uz to:

- prometnicu na istom potezu treba kontinuirano rasvijetliti kako glede primjene izvora svjetlosti, razine i jednolikosti rasvjete, tako i glede svih ostalih elemenata javne rasvjete
- na križanju dviju prometnica, načelo kontinuiteta treba zadržati na prometnici koja ima prednost ili pripada u viši razred javne rasvjete
- prometnice iste važnosti moraju biti jednako rasvijetljene

3.2. Raspored i visina izvora svjetlosti cestovne rasvjete

U cestovnoj se rasvjeti općenito mora koristiti jedan od sljedećih rasporeda izvora svjetlosti: centralni, jednostrani, dvostrani (izvori paralelno), dvostrani (izvori naizmjenično), kombinirani (centralni i dvostrani), osni (nosive žice poprečno na cestu) i osni (nosive žice uzdužno na cestu).

3.2.1. Centralni raspored izvora svjetlosti

Centralni raspored izvora svjetlosti najčešće se primjenjuje na autocestama i prometnicama gdje su smjerovi razdvojeni razdjelnim pojasom s najviše dva do tri prometna traka. Izvori svjetlosti postavljeni su na jedan stup i to u opoziciji, tako da svaki od njih rasvjetljava svoj kolnik.



Slika 8. Centralni raspored izvora svjetlosti

3.2.2. Jednostrani raspored izvora svjetlosti

Jednostrani raspored izvora svjetlosti, kao jednostavan i ekonomičan, najčešće se primjenjuje na svim vrstama prometnica s najviše tri prometna traka, kod kojih ukupna širina kolnika nije veća od visine montaže izvora svjetlosti. Radi dobre poprečne rasvjetljenosti neophodno je maksimum zračenja jakosti svjetlosti svjetiljke usmjeriti na najudaljeniji prometni trak.



Slika 9. Jednostrani raspored izvora svjetlosti

3.2.3. Dvostrani raspored izvora svjetlosti

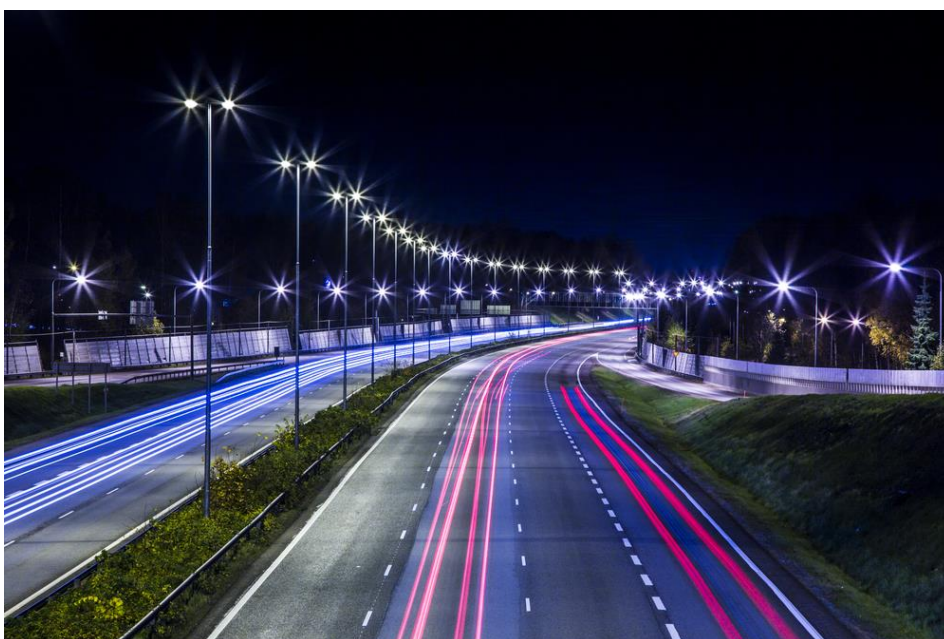
Dvostrani raspored izvora svjetlosti je općenito primjenjiv za sve relativno široke prometnice s najmanje četiri prometna traka tako da svaki red preuzima ulogu rasvjetljavanja polovice širine kolnika. Dvostrani raspored može biti s izvorima jedan nasuprot drugome, odnosno s naizmjenično postavljenim izvorima. Oba rasporeda daju dobre svjetlotehničke vrijednosti, posebno jednolikost sjajnosti odnosno rasvjetljenosti, no ipak prednost ima raspored s paralelnim izvorima.



Slika 10. Dvostrani raspored izvora svjetlosti

3.2.4. Kombinirani raspored izvora svjetlosti

Kombinirani raspored izvora svjetlosti primjenjuje se općenito na relativno širokim prometnicama s dva kolnika od kojih svaki ima najmanje četiri prometna traka s obostranim pješačkim stazama uz kolnik.



Slika 11. Kombinirani raspored izvora svjetlosti

3.2.5. Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu

Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu prikladan je i često se koristi za rasvjetu ulica u središnjem dijelu grada. Izvori svjetlosti postavljeni su po sredini ulice, odnosno na širim ulicama po sredini svakog prometnog traka i to na čelične žice razapete između zgrada.



Slika 12. Osni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu

3.2.6. Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste

Osni ili aksijalni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste primjenjiv je najčešće pri rasvjeti autocesta s relativno širokim kolnicima. Svjetiljke se postavljaju na čeličnu nosivu žicu uz uzdužnu os ceste, a moraju biti pričvršćene na žice tako da se spriječi njihano uzrokovano vjetrom.



Slika 13. Osni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste

3.3. Klase javne rasvjete cesta za motorni promet

Kako se ceste međusobno razlikuju po prometnom značenju, lokaciji, količini i gustoći te dopuštenoj brzini prometa, građevinskim dimenzijama i ostalom tako ni njihova rasvjeta ne mora biti ista. Stoga je utvrđeno nekoliko klasa cestovne rasvjete u zavisnosti od sljedećih utjecajnih čimbenika:

- prometna razina ceste
- količina i gustoća prometa
- razina prometnog opterećenja ceste (složenost prometa)
- jednosmjerni, odnosno dvosmjerni promet
- razina opremljenosti ceste prometnom signalizacijom (npr. prometna svjetla)

U tablici 1. prikazane su utvrđene klase cestovne rasvjete i pripadajući utjecajni čimbenici klasifikacije. Pri izboru odgovarajuće klase valja voditi računa o svim sudionicima u prometu uključujući vozače motocikala, bicikliste i pješake.

Tablica 1. Klase cestovne rasvjete i pripadajući utjecajni čimbenici klasifikacije

| Čimbenici klasifikacije | Klasa cestovne rasvjete |
|---|-------------------------|
| Ceste s velikom dopuštenom brzinom i jednosmjernim prometom; u pravilu s razdjelnim pojasom između prometnih trakova; s križanjima u dvije ili više razina; stroga kontrola pristupa cesti; u pravilu su to autoceste i ceste namjenjene isključivo za promet motornih vozila. Opseg i gustoća prometa te složenost konfiguracije mogu biti velika, srednja i mala | M1 M2 M3 |
| Ceste s velikom dopuštenom brzinom i dvosmjernim prometom; u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike u prometu. Kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti loša i dobra. | M1 M2 |
| Ceste sa srednjom brzinom prometa ; u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za pojedine sudionike u prometu. Kontrola prometa i razdvojenost kolnika mogu biti loša i dobra. | M2 M3 |
| Ceste za relativno slabiji i lokalni promet s malom brzinom prometa; spojne ceste; prometno važnije ceste u stambenim naseljima i slično; u pravilu ceste s kontrolom prometa i razdvojenim kolnicima za različite sudionike u prometu koje mogu biti loša i dobra. | M4 M5 |

Tablica 2. Utjecajni čimbenici klasifikacije cestovne rasvjete

| Klasa cestovne rasvjete | Područje primjene | | | | | |
|-------------------------|-------------------|--------|--------|---|--|--|
| | za sve ceste | | | ceste bez križanja ili s vrlo malim brojem križanja | ceste s pješačkim stazama klase P1 do P4 | |
| | Lm (cd/m2) | jL (%) | TI (%) | jLu (%) | KRO | |
| M1 | 2,0 | 40 | 10 | 70 | 0,5 | |
| M2 | 1,5 | | | 50 | | |
| M3 | 1,0 | | | | | |
| M4 | 0,75 | | 15 | | | |
| M5 | 0,5 | | | | | |

4. ANALIZA RASVJETE TUNELA ZA MOTORNI PROMET

4.1. Mjerila kvalitete rasvjete tunela za motorni promet

Rasvjeta cestovnih tunela mora udovoljavati svim zahtjevima dobre vidljivosti i vidne udobnosti. To osobito vrijedi za rasvjetu unutarnje zone tunela u vožnji danju, odnosno za cijeli tunel pri vožnji noću. Budući da je tunel specifična prometna građevina u kojoj rasvjeta treba jamčiti sigurnu i udobnu vožnju danju i noću, tražena pouzdanost zapažanja nameće nešto strože zahtjeve od onih utvrđenih za cestu. Sprečavanje efekta "crnog otvora" i "crnog okvira" uvjetuje da razina rasvjete u tunelu i ona na cesti (ispred i iza ulaza u tunel) danju i noću bude u strogo utvrđenim odnosima. Proces normalne vidne prilagodbe pri vožnji tunelom zahtjeva postupno povećanje, odnosno postupno smanjenje rasvjetljenosti uzduž tunela kako bi taj proces bio usklađen sa sposobnošću prilagodbe oka vozača. Mjerila kvalitete rasvjete tunela za motorni promet su:

- razina sjajnosti površine kolnika
- razina sjajnosti površine zidova
- jednolikost sjajnosti površine kolnika i zidova
- ograničenje blještanja
- spektralni sastav izvora svjetlosti
- vizualno vođenje
- ograničenje efekta treperenja
- ostala mjerila

Ta mjerila vrijede, u pravilu, za duge tunele, a za kratke neka od mjerila nemaju praktično značenje.

4.1.1. Razina sjajnosti površine kolnika

Razina srednje sjajnosti površine kolnika mora jamčiti vozaču uočavanje eventualne zapreke s udaljenosti jednake duljini zaustavnog puta vozila te sigurnost da ispred njega nema zapreke. Razina sjajnosti površine kolnika različita je za različite vrste tunela, za različite vrijednosti sjajnosti prilaznih zona tunela, za iste tunele u vožnji danju i onoj noću, za različite

primjene sustava rasvjete te za pojedine utvrđene zone istog tunela. Kvaliteta rasvjete tunela za motorni promet utvrđena je različitim vrijednostima sjajnosti površine kolnika od kojih su neke:

- razina sjajnosti površine kolnika zone praga – koja će vozaču jamčiti sigurno zapažanje eventualne zapreke izravno ovisi o trenutačnoj vanjskoj sjajnosti prilagodbe njegovih očiju. Vrijednost razine srednje sjajnosti uzduž prve polovice zone praga je konstantna, a uzduž druge polovice dopušta se njezino smanjenje do 40 posto početne vrijednosti.
- razina sjajnosti zone prijelaza – mora vozaču jamčiti postupnu prilagodbu oka. Budući da trenutno nema odgovarajućih metoda za izračun vrijednosti sjajnosti prilagodbe oka koji je neposredno na ulazu u tunel, uzima se da je ona jednaka sjajnosti prilagodbe u točki prijelaza i da u daljnjoj vožnji kroz ulaznu zonu konstantno opada.
- razina sjajnosti unutarnje zone – koja se nastavlja iza prijelazne zone i čija je minimalna razina srednje sjajnosti površine kolnika konstantna. Nominalna razina srednje sjajnosti unutarnje zone ovisi o zaustavnom putu i gustoći prometa.
- razina sjajnosti izlaza – čija je vrijednost razine srednje sjajnosti površine kolnika za većinu sustava rasvjete tunela jednaka onoj u unutarnjoj zoni ili nešto viša, jer se oko brzo prilagođuje visokim vrijednostima sjajnosti, a dnevna svjetlost koja prodire kroz otvor uzlaza tunela omogućuje zapažanje eventualne prepreke.
- razina sjajnosti u vožnji noću – u gradskim tunelima kojima su prilazna i odlazna cesta kvalitetno rasvjetljene, trebala bi biti najmanje jednaka onoj ceste prije i poslije tunela i to jednoliko uzduž cijelog tunela. Ako cesta prije ili poslije tunela nije rasvjetljena, srednja sjajnost površine kolnika trebala bi biti najviše 1 cd/m^2 .

4.1.2. Razina sjajnosti površine zidova

Sjajnost površine zidova tunela osjetno pridonosi općoj rasvjetljenosti vozačeva vidnog polja, posebno pri zapažanju prepreka većih od standardnih. Takve se prepreke lakše ocrtavaju na svijetlim plohama zidova tunela, a manje na površini kolnika. Refleksija sa svijetlih i glatkih površina zidova i stropa također povećava razinu sjajnosti površine kolnika 10 do 15 posto, što ovisi o izgledu poprečnog profila i dimenzijama tunela, vrsti rasporeda izvora svjetla, čimbeniku refleksije površine zidova i stropa te o krivulji zračenja jakosti svjetlosti svjetiljke.

4.1.3. Jednolikost sjajnosti površine kolnika i zidova

Kao mjerilo kvalitete rasvjete tunela, jednolikost sjajnosti površine kolnika i zidova odnosi se na untarnju zonu tunela u vožnji danju, duljinu tunela za najniži režim rasvjete u vožnji danju, duljinu tunela za režim rasvjete u vožnji noću i dionice ceste prilazne i odlazne zone u vožnji noću.

Na jednolikost sjajnosti površine kolnika i zidova utječe izgled poprečnog profila, odabrani oblik instalacije rasvjete tunela, odabrani izbor svjetla te krivulja zračenja jakosti svjetlosti svjetiljke.

4.1.4. Ograničenje blještanja

Manje visine montaže izvora svjetlosti u tunelu uzrok su znatno većeg fiziološkog blještanja. Ono je donekle ublaženo samo u zoni ulaza zbog relativno visokih vrijednosti sjajnosti površine kolnika i zidova.

Fiziološko blještanje može se svesti na najmanju mjeru primjenom posebnih svjetiljki za tunele, davanjem prednosti fluorescentnim svjetiljkama te niskotlačnim natrijevim cijevima.

4.1.5. Spektralni sastav izvora svjetlosti

Na temelju preporuka i prethodnih zaključaka, za sustave rasvjete tunela najpogodniji su izvori na osnovi natrija (niskotlačna cijev i visokotlačna žarulja), pa se oni i najčešće koriste.

4.1.6. Vizualno vođenje

Preporuke koje će vizualnim vođenjem vozaču jamčiti dobru vidljivost i udobnost za pojedine sustave rasvjete tunela su:

- rasvjetom istaknuti površinu kolnika tako da je nešto tamniji u odnosu na zidove
- održavati čistoću zidova
- odabranim rasporedom svjetiljaka pružiti vozaču jasan i nedvosmislen smjer vožnje

- za tunele u zavoju rasporediti izvore svjetla na bočnom zidu vanjske strane zavoja

4.1.7. Ograničenje treperenja

U vidnom polju vozača mogu se pojaviti treperavi svjetlosni vidni dojmovi izazvani luminacijom montiranih izvora svjetla u isprekidanom nizu i refleksijom nejednolike luminacije s glatkih površina vlastitog vozila ili drugih vozila. Jakost smetnji svjetlosnog treperenja općenito ovisi o:

- učestalosti treperenja
- maksimalnoj vrijednosti luminacije treperenja
- srednjoj razini sjajnosti vidnog polja vozača
- odnosu duljine izvora svjetlosti i njihova međurazmaka
- ukupnom trajanju treperenja (učestalost treperenja je veća što su brzina vožnje i međurazmak izvora svjetlosti veći)

4.1.8. Ostala mjerila

Na opće psihološko stanje vozača u vožnji relativno dugim tunelom utječe i povišeni stupanj zagađenosti zraka i buke te neugodan osjećaj monotonije i klaustrofobije. Zbog toga treba ugraditi djelotvoran sustav ventilacije, održavati čistoću zidova i kolnika, ugraditi sustave nadzora, ublažiti efekte treperenja i opremiti tunel posebnim oznakama.

4.2. Raspored i visina izvora svjetlosti tunela

Izbor optimalnog rasporeda izvora svjetlosti u poprečnom i uzdužnom profilu tunela u osnovi ovisi o:

- svjetlotehničkim zahtjevima rasvjete tunela
- vrsti odabranog izvora svjetlosti i svjetiljke
- broju režima pogona
- strogosti zahtjeva za sprečavanje treperenja

- konstruktivnim ograničenjima
- mogućnostima održavanja

Za dva uobičajena standardna poprečna profila tunela preporučuju se sljedeće vrste rasporeda izvora svjetlosti: centralni, polucentralni, centralno dvostrani, bočno jednostrani, bočno dvostrani i kombinirani.

Pri centralnom rasporedu, izvori svjetlosti postavljeni su na strop, a pri bočnom na zid tunela. Kad su građevinske dimenzije tunela jednake slobodnom profilu, izvore svjetlosti odnosno svjetiljke treba ugraditi u strop odnosno bočne zidove tunela. Iskoristivost rasvjete pri centralnom rasporedu približno je 50 posto veća od one pri bočnom rasporedu. Raspored izvora svjetlosti uzduž tunela u pravilu se izvodi u neprekinutom nizu, isprekidanom nizu ili kombiniranom nizu.

Projektiranje tunelske rasvjete je veoma složen i sofisticiran zadatak. Između najpreciznijih kalkulacija uključujući veoma stroge kriterije, norme i standarde, uvijek je prisutna razlika između matematičko svjetlosnih uvjeta i subjektivne perspektive vozača u tunelu. Kontinuirana istraživanja i razvoj doprinijela su sve sofisticiranijem i detaljnijem shvaćanju tunelske rasvjete i njezinom utjecaju na položaj vozača motornoga vozila u tunelu. To je omogućilo razvoj softvera koji objedinjuje u razmatranju matematičke modele fiziološke stimulacije s konvencionalnim parametrima rasvjete u cilju postizanja matematičkih rezultata preciznijih od konvencionalnih metoda.

Softver uzima u obzir čimbenike izvan i unutar tunela te generira tablice razina vidljivosti koje prikazuju utjecaj danjeg svijetla na razine vidljivosti potencijalnih ciljeva u ulaznoj zoni tunela. Projektiranje i dizajn rasvjete tunela je posao za profesionalne stručnjake koji moraju definirati projekt, odabrati sistem rasvjete, tip, vrstu, broj rasvjetnih tijela kao i odrediti njihovu razinu rasvjetljenosti. Za unutrašnjost tunela kao i kritične točke unutar tunela od esencijalne je važnosti kontrola rasvjetljenosti tunela. Razine svjetlosti izvan tunela, svijetlo dana, brzina i gustoća prometa značajni su parametri koji se obrađuju u sustavima kontrole.



Slika 14. Centralni raspored rasvjete u tunelu

4.3. Klase javne rasvjete tunela za motorni promet

Osnovni pristup klasifikaciji rasvjete tunela temelji se na zahtjevu dobre vidne karakteristike i udobnosti u vožnji tunelom danju te je tunelima s težim uvjetima prometa potrebno pridodati i osjetno višu razinu kvalitete njihove rasvjete. Zahtjevi kvalitete rasvjete tunela pri vožnji danju stroži su od onih za vožnju noću, pa se klasifikacija rasvjete tunela ponajprije odnosi na rasvjetu tunela pri vožnji danju. Određena se klasa rasvjete tunela određuje brzinom prometa te gustoćom i vrstom prometa.

U vožnji danju, sposobnost zapažanja određenog kontrasta u zoni praga uvelike ovisi o brzini vožnje. Ona je u pravilu to manja što je brzina prometa veća jer je pri većim brzinama:

- točka početka zaustavnog puta vozila udaljenija od ulaza u tunel
- prividna veličina zapreke i otvora tunela manja
- kontrast zapreke i njezine pozadine manji jer je ekvivalentna luminacija prekrivanja relativno debelog sloja atmosfere veća
- luminacija prilagodbe vozačevih očiju veća jer na nju pretežito utječe svijetla okolina i dio površine neba, a manje ili neznatno tamni otvor tunela
- vidni zadatak općenito teži

Pri nailasku na tunel vozač treba biti sposoban zapaziti moguću opasnost sa sigurne udaljenosti, odnosno s točke početka zaustavnog puta vozila. Pri manjim brzinama, točka početka zaustavnog puta vozila bliža je otvoru tunela, pa njegova tamna, relativno veća prividna slika znatno utječe na prilagodbu vozačevih očiju, a time i na rasvjetu ulaza tunela. Pri malim brzinama ulaska u tunel stanje prilagodbe vozačevih očiju izuzetno je povoljno. Za veće brzine prometa duža je zona praga i zona prijelaza. Ispušni plinovi i uskovitlana prašina pri velikom prometu tunelom izravno utječu na vidljivost u tunelu. Koncentracija plinova, prašine, čađi i ostalog ovise o gustoći prometa, brzini, visini i težini vozila, održavanju vozila i sl.

Tablica 3. Utjecajni čimbenici klasifikacije rasvjete tunela

| Čimbenici klasifikacije | | Zaustavni put (m) | | |
|-------------------------|---|-------------------|-------------|--------|
| | | 160 | 100 | 60 |
| | | Stupnjevi | | |
| | | velika | srednja | mala |
| Prometni | Brzina kretanja vozila (km/h) | 100 | 80 | 60 |
| | Gustoća motornog prometa (vozila/24 sata) | > 1000 | 1000 - 3000 | ≤ 100 |
| Prostorni | Luminacija prilazne zone L (cm/m ²) | < 4000 | 2500 - 4000 | ≤ 2000 |

Na temelju svih prometnih čimbenika mogu se utvrditi tri osnovne klase rasvjete tunela: A, B i C. Na temelju prostornih čimbenika dodatno se utvrđuju po tri skupine osnovnih klasa A1, A2 i A3, B1, B2 i B3 te C1, C2 i C3.

Tablica 4. Klase rasvjete tunela i pripadajući utjecajni čimbenici klasifikacije

| Klasa | | Utjecajni čimbenici klasifikacije | Stupnjevi | | |
|-------|----|------------------------------------|-----------|---------|------|
| | | | velika | srednja | mala |
| A | | Brzina (km/h) | • | | |
| | | Gustoća prometa (vozila/24 sata) | • | • | |
| | A1 | Luminacija prilazne zone L (cm/m2) | • | | |
| | A2 | | | • | |
| | A3 | | | | • |
| B | | Brzina (km/h) | | • | |
| | | Gustoća prometa (vozila/24 sata) | • | • | |
| | B1 | Luminacija prilazne zone L (cm/m2) | • | | |
| | B2 | | | • | |
| | B3 | | | | • |
| C | | Brzina (km/h) | | | • |
| | | Gustoća prometa (vozila/24 sata) | | • | • |
| | C1 | Luminacija prilazne zone L (cm/m2) | • | | |
| | C2 | | | • | |
| | C3 | | | | • |

5. ANALIZA RASVJETE POSEBNIH MJESTA

5.1. Mjerila kvalitete rasvjete prostora i ulica za pješački promet

Jedan od osnovnih zahtjeva sigurnosti u cestovnom prometu je viđenje i vidljivost na svakom dijelu prometne površine u svako doba dana i noći. U skladu s time, utvrđena su i određena specifična mjerila kvalitete takve rasvjete:

- razina horizontalne rasvjetljenosti površine kolnika
- razina vertikalne rasvjetljenosti pješaka
- jednolikost horizontalne rasvjetljenosti površine kolnika
- razina polucilindrične rasvjetljenosti pješaka

5.1.1. Razina rasvjetljenosti površine kolnika

Rasvjetljenost je mjerilo količine svjetlosnog toka nekog izvora svjetlosti koji pada na određenu površinu i iskazuje se izrazom:

$$E = \frac{\phi}{S}$$

gdje je:

E (lx) = rasvjetljenost zadane površine

ϕ (lm) = svjetlosni tok izvora svjetlosti koji pada okomito na zadanu površinu

S (m) = zadana površina

Rasvjetljenost je manja ako svjetlosni tok pada na zadanu površinu pod nekim kutem α ($E' = E \cos \alpha$). Razina srednje rasvjetljenosti površine kolnika određena je ukupnim svjetlosnim tokom izvora svjetlosti koji pada na unaprijed definiranu plohu kolnika.

Rasvjetljenost neke točke površine proporcionalna je jakosti izvora svjetlosti koja pada okomito na točku i obrnuto je proporcionalna kvadratu udaljenosti:

$$E_T = \frac{I}{l^2}$$

gdje je:

$E_T (lx)$ = rasvjetljenost točke

$I (cd)$ = jakost izvora svjetlosti točke okomito na površinu

$l (m)$ = udaljenost između izvora i točke

5.1.2. Jednolikost rasvjetljenosti površine kolnika

Jednolikost rasvjetljenosti površine kolnika je mjerilo kvalitetne razdiobe svjetlosti po površini i utvrđuje se izrazom:

$$j_r = \frac{E_{min}}{E_m} * 100 [\%]$$

gdje je:

$j_r (\%)$ = jednolikost rasvjetljenosti

$E_{min} (lx)$ = minimalna vrijednost rasvjetljenosti površine

$E_m (lx)$ = srednja vrijednost rasvjetljenosti površine

5.1.3. Polucilindrična rasvjetljenost

Polucilindrična rasvjetljenost definirana je kao rasvjetljenost polovice plohe valjka u smjeru izvora svjetlosti. Ona je u biti okomita rasvjetljenost plus dodatna projekcija te rasvjetljenosti na os promatranja.

Maksimalna vrijednost polucilindrične rasvjetljenosti dobiva se za $\beta = 0^\circ$ odnosno kad se pravac promatranja podudara s pravcem izvora svjetlosti. Minimalna vrijednost dobiva se za $\beta = 90^\circ$. Za položaj izvora svjetlosti iza polucilindra ($\beta = 180^\circ$), vrijednost polucilindrične rasvjetljenosti je nula.

5.2. Rasvjetljavanje posebnih mjesta

Posebnim mjestima smatraju se površine i prostori koji svojom konfiguracijom, prometnim režimom ili drugim svojstvima zahtijevaju poseban način postupanja pri odabiru geometrije.

5.2.1. Križanje u razini

Na križanjima u gradu nastaje više od 50 posto nesreća, pa prema tome treba pozornost obratiti na rasvjetu križanja u razini te je potrebno:

- zadržati iste kriterije kvalitete javne rasvjete kao i na ostalim dijelovima ceste
- razinu rasvjete povećati do 50 posto u odnosu na ostali dio prometnice
- zadržati istu visinu postavljanja i kut nagiba svjetiljke
- zadržati isti izvor svjetla, tip svjetiljke i raspored
- rasvjetliti dionice ceste najmanje 150 metara na obje strane od središta križanja
- odrediti raspored stupova na križanju a zatim na ostalom dijelu prometnice te uskladiti položaj stupova s vertikalnom prometnom signalizacijom

5.2.2. Križanja u više razina

Prometne petlje u načelu treba rasvjetljivati:

- standardnim rasporedom izvora svjetlosti: središnjim, jednostranim ili dvostranim s normalnim visinama postavljanja od 12 do 16 metara.
- koncentriranim smještajem izvora svjetla na visokim stupovima (20 do 40 metara) raspoređenim unutar zone koju zauzima prometna petlja.

Pri standardnom rasporedu, koji se preporuča za velike petlje izvan naselja, treba na svim glavnim prometnicama zadržati iste kriterije kao i na otvorenoj dionici ceste s istim elementima instalacije, dok se na sporednim prometnicama mogu promijeniti elementi instalacije (visina postavljanja, raspored, nagib svjetiljke i sl.). Obavezno treba izvesti zone prilagođavanja te uskladiti elemente instalacije s prometnom signalizacijom.

5.2.3. Kružni tok

Ceste s kružnim prometom, ako postoji središnji otok manjih dimenzija, rasvjetljuju se pomoću jednog središnjeg stupa s odgovarajućim brojem svjetiljaka.

Na raskrižju s većim središnjim otokom rasvjetna mjesta treba postaviti na produžetku svake osi pojedinog prometnog traka na rub otoka i na produžetku tangente na simetralu ceste koja prolazi kroz sjecište osi prometnih trakova na ulaznim cestama. Ostala rasvjetna mjesta treba postaviti na vanjski rub kružnog otoka.



Slika 15. Rasvjeta na produžetku tangente na simetralu ceste

5.2.4. Ceste u zavoju

Pri rasvjetljavanju zavoja na dvotračnim cestama treba svjetiljke postaviti na vanjskoj strani zavoja. Ako je cesta s tri ili više prometnih trakova, treba primjeniti dvostrani paralelni raspored i postupno smanjiti međurazmake izvora svjetlosti do najviše dvije trećine onih na dijelu ceste u pravcu. Pritom je nužno osigurati dobro optičko vođenje .

5.2.5. Kolnici na građevinama

Pod građevine spadaju mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, potporni zidovi i sl. Bez obzira na njihovo prometno značenje, sve građevine s malim radijusom okomite zaobljenosti nivelete potrebno je kvalitetno rasvijetliti. Treba se zadržati kontinuitet rasvjete na građevini kao prije i poslije građevine, a raspored stupova mora uvijek biti simetričan jer naizmjenično postavljena rasvjeta stvara vizualni diskontinuitet. Stupovi se smještaju iznad nosača građevine i izvan slobodnog profila te je potrebno tehnički riješiti rasvjetu tako da s konstrukcijom građevine čini skladnu cjelinu.

5.2.6. Kolnici u podvožnjaku

Bez obzira na njihovu dužinu sve podvožnjake treba rasvijetliti ako je cesta ispred i iza podvožnjaka rasvijetljena. Pritom mora biti zadržana približno ista kvaliteta rasvjete kolnika. Sve duže podvožnjake treba tretirati kao tunele te primjeniti tehniku rasvjete tunela. Za rasvjetu podvožnjaka preporučuje se svjetiljke postaviti na strop građevine i paziti da ne zadiru u slobodni profil ceste.

5.2.7. Mjesta uključivanja i isključivanja iz prometa

Sva mjesta na autocestama i poluautocestama na kojima se vozila uključuju u glavni tok prometa ili se iz njega isključuju preporučuje se kvalitetno rasvijetliti. Pritom se treba držati sljedećih pravila:

- prikladnim rasporedom izvora svjetlosti jamčiti vozaču dobro vizualno vođenje
- na mjestu odvajanja uvijek rasvijetliti i dionicu glavne prometnice i to najmanje 150 metara obostrano od matematičkog vrha odvajanja
- kako bi vozač na vrijeme i s dostatne udaljenosti mogao dobro uočiti mjesto uključivanja ili isključivanja vozila iz prometa, dobrom mjerom pokazala se primjena izvora svjetlosti s drukčijom bojom emitiranog spektra za odvojne i pristupne ceste od onih za kolnike glavne ceste

5.2.8. Prometne površine poslovno-uslužnih građevina

Prostori poslovno-uslužnih građevina smješteni su u pravilu na autocestama. Vozačima i putnicima one pružaju sve uobičajene usluge (gorivo, manji popravci, ugostiteljstvo i sl.). Rasvjeta ovih prostora mora biti izrazito visoke kvalitete jer je tu na relativno malom prostoru koncentriran velik broj pješaka i vozila. Kako se ovdje radi o mjestima uključivanja i isključivanja iz prometa, na kojima se najčešće događaju prometne nesreće, potrebno je kvalitetno rasvjetliti dionicu autoceste na dužini cijele građevine.

5.2.9. Pješački prijelazi

Sve statistike upućuju na to da su pješaci najugroženija skupina sudionika u prometu. Više od 50 posto pješaka pogine na pješačkom prijelazu. Na kontinuirano rasvjetljenoj cesti, uz razinu rasvjetljenosti od najmanje 2 cd/m² te dobru jednolikost i ograničenje blještanja, nije potrebna posebna rasvjeta pješačkog prijelaza. Posebnu rasvjetu pješačkog prijelaza treba predvidjeti na nerasvjetljenoj cesti ili na nedovoljno rasvjetljenoj cesti.

Položaj izvora svjetlosti ovisan je o mjestu pješačkog prijelaza gledano iz pravca prometnog toka. Pješak je vidljiv putem efekta pozitivne siluete. Na cestama u zavoju izvor svjetla treba postaviti ispred pješačkog prijelaza gledano iz pravca prometnog toka. Pješak je vidljiv efektom negativne siluete.

5.2.10. Pješački pothodnici

Pri rasvjetljavanju pješačkih pothodnika treba znati i učiniti:

- što je pothodnik duži, kvaliteta rasvjete mora biti viša
- primjeniti centralni raspored svjetiljki ili sa svjetiljkama na vrhu bočnih zidova
- predvidjeti nužnu rasvjetu i natpise s oznakama "IZLAZ"
- primjeniti cjelodnevni režim rada rasvjete
- dobro rasvjetliti pristupne stube

5.2.11. Pješački nathodnici

Pri rasvjetljavanju pješačkih nathodnika potrebno je:

- ostvariti rasvjetu od istih izvora koji rasvjetljavaju prometnicu ispod
- primjeniti dodatnu rasvjetu nathodnika u slučaju loše rasvjete na cesti
- primjeniti strogo zasjenjene svjetiljke orjentirane suprotno od smjera prometa
- rasvjetliti pristupe u dužini najmanje 50 metara

5.2.12. Pješački prolazi

Pri rasvjeti pješačkih prolaza preporučuje se:

- minimalna trajna srednja vrijednost rasvjetljenosti pješačkog prolaza dužine 20 metara treba biti 100 luxa uz jednolikost od najmanje 50 posto
- primjeniti neizravnu ili poluneizravnu rasvjetu
- u prolazima dužim od 10 metara predvidjeti svjetleće natpise "IZLAZ"
- primjeniti cjelodnevni režim rasvjete

5.3. Klase javne rasvjete za prostore i ceste za pješački promet

Kvalitetna cestovna rasvjeta prije svega treba pješaku jamčiti dobro zapažanje detalja unutar njegovog vidnog polja te na vrijeme omogućiti uočavanje opasnosti. Cestovna rasvjeta cesta i prostora uglavnom ili isključivo za pješake razvrstana je u sedam klasa. Najviša klasa P1 u pravilu se odnosi na sve ulice i prostore na čiju se kvalitetu rasvjete, a sa svrhom stvaranja atraktivnog urbanog ambijenta, postavljaju relativno visoki zahtjevi. Klase rasvjete P5, P6 i P7 treba primjeniti na ulice i prostore u kojima su pješaci poprilično sigurni i na kojima ima malo kriminalnih djela. Preporuke se odnose na ulice i prostore namjenjene pješacima i biciklistima.

Tablica 5. Klase javne rasvjete prostora i cesta za pješački promet

| Vrsta ceste | Klasa rasvjete |
|--|----------------|
| Ceste i prostori visoke prometne razine | P1 |
| Ceste i prostori s velikom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću | P2 |
| Ceste i prostori sa srednjom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću | P3 |
| Ceste i prostori s malom količinom i malom gustoćom pješaka i biciklista noću; pretežito pristupne ceste stambenim i drugim zgradama | P4 |
| Ceste i prostori s malom količinom i malom gustoćom pješaka i biciklista noću; pretežito pristupne ceste zgradama; važnost očuvanja ruralnog ili urbanog ambijenta | P5 |
| Ceste i prostori s veoma malom količinom i gustoćom pješaka i biciklista noću; pretežito pristupne ceste zgradama; važnost očuvanja ruralnog ili urbanog ambijenta | P6 |
| Ceste i prostori koji trebaju imati samo orijentacijsku rasvjetu | P7 |

Utvrđene vrijednosti srednje horizontalne rasvjetljenosti prema tablici 6. vrijede za ukupno promatranu površinu, za pješačku stazu i za sam prometni kolnik. Klasa P7 pripada tzv. kategoriji orijentacijske rasvjete za koju nema posebnih zahtjeva.

Tablica 6. Čimbenici klase javne rasvjete prostora i cesta za pješački promet

| Klasa rasvjete | Em (lx) | jr (%) |
|----------------|------------------------|--------|
| P1 | 25,0 | 40 |
| P2 | 15,0 | |
| P3 | 10,0 | |
| P4 | 7,5 | 25 |
| P5 | 5,0 | |
| P6 | 3,0 | |
| P7 | nema posebnih zahtjeva | |

6. PRIJEDLOZI ZA POBOLJŠANJE CESTOVNE RASVJETE U SVRHU SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

6.1. Svjetlosno zagađenje

Svjetlosno zagađenje je svaka nepotrebna, nekorisna emisija svjetlosti u prostor izvan zone koju je potrebno osvijetliti, a do koje dolazi zbog uporabe neekoloških rasvjetnih tijela, većinom još i nepravilno postavljenih. Noću, iznad horizonta, manjih i većih naselja uzdižu se oblaci narančasto-bijelo-žute boje svjetlosti javne i druge rasvjete koju neekološki, nekontrolirano i štetno prema nebu isijavaju neekološka rasvjetna tijela.

Postoje dvije osnovne vrste rasvjetnih tijela, neekološka (ona rasvjetna tijela koja imaju kuglu, polukuglu ili bilo kakvu izbočinu) i ekološka (ona rasvjetna tijela sa ravnim staklom). Važnost ravnog stakla u armaturi rasvjetnog tijela je u činjenici da ravno staklo raspršuje svjetlost samo u jednom smjeru, znači u pod, dok zaobljena stakla svjetlost raspršuju cijelom svojom površinom, u više smjerova pa svjetlost odlazi prema horizontu i prema nebu, a upravo ta svjetlost izaziva svjetlosno zagađenje.

Jedna od posljedica svjetlosnog zagađenja je smanjena sigurnost u prometu. Svjetlosno zagađenje smeta vozačima zbog blještanja koje prouzrokuje. Zbog blještanja svjetla u oči smanjuje se osjetljivost na kontrast, oštrina i brzina zapažanja, što su vrlo bitni čimbenici sigurnosti prometa. Umjesto da rasvjeta podiže razinu sigurnosti vozača, ona im stvara velike poteškoće kada iz mraka nailaze na blještajuća rasvjetna tijela. Prometnice bi trebalo osvjetljivati ekološkim rasvjetnim tijelima koja ne blješte vozaču u oči, već osvjetljavaju samo cestu. Uz podatak da su ekološka rasvjetna tijela kvalitetnija, jeftinija i da troše manje struje uz veći postotak iskorištene energije, osvjetljavanje cesta, ulica, trgova neekološkim rasvjetnim tijelima je apsurdno.



Slika 16. Svjetlosno zagađenje

6.2. Sustav regulacije rasvjete

Sve prometnice i nogostupi grada ne zahtijevaju istu razinu rasvijetljenosti tijekom noći. Uvođenjem sustava regulacije rasvjete moguće je optimizirati javnu rasvjetu prema varijabilnim zahtjevima vremena i prostora. Tako je moguće u kasnim noćnim satima smanjiti razinu osvijetljenosti prometnica. Ovakva jednostavna dvostupanjska cestovna regulacija (tzv. polunoćni režim) omogućuje uštede od 20% energije. Korištenjem sofisticiranijih sustava regulacije moguće je postići uštede u radu i do 50%.

Osnovne preporuke za učinkovitu javnu rasvjetu i dinamičke uštede su:

- korištenje učinkovitih izvora svjetla (napredne tehnologije)
- korištenje učinkovitih žarulja (svjetlosno zagađenje)
- projektiranje javne rasvjete u skladu s normama
- učinkovito upravljanje javnom rasvjetom
- praćenje troškova i potrošnje javne rasvjete
- redovito održavanje

Važna preporuka za sve gradove i općine jest uspostava baze podataka koja sadržava sve tehno-ekonomske parametre kao i lokacije (pozicije stupova) - registar javne rasvjete. Uspostava takve baze podataka omogućava kontrolu potrošnje, smanjenje troškova održavanja te olakšava planiranje budućih potreba i proširenje sustava rasvjete.

7. ZAKLJUČAK

Rasvjeta cesta smanjuje rizik od nesreća koje uključuju ranjivije sudionike prometa, a svrha rasvjete je osigurati optimalne uvjete za percepciju u prometnom okruženju, osigurati minimalne propisane vrijednosti osvjetljenja prometnica te ravnomjernu rasvjetljenost i smanjenje efekta blještanja. Sustavi cestovne rasvjete koji jamče maksimalno sigurnu i udobnu vožnju na cesti noću te vožnju danju i noću pri prolazu kroz tunel smatraju se kvalitetnim.

Svjetlost možemo opisati kao elektromagnetsko zračenje koje, osim vidljivoga ljudskom oku, uključuje i ultraljubičasto i infracrveno zračenje. Svjetlotehničke odnosno fotometrijske veličine vrednuju svjetlost na temelju osjetilnog efekta i ograničene su samo na vidljivo zračenje. U te veličine ubrajamo svjetlosni tok, jakost svjetlosti, rasvjetljenost i luminaciju. Luminancija je jedina fotometrijska veličina koju ljudsko oko može direktno vidjeti te predstavlja najvažniji čimbenik projektiranja javne rasvjete.

Analiza rasvjete cesta za motorni promet, tunela za motorni promet te posebnih mjesta opisane su pomoću obrade mjerila kvalitete rasvjete, rasporeda i visina izvora svjetlosti te klasama javne rasvjete. Definiranje mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet temelji se na konceptu luminacije (sjajnosti), jer je sposobnost prilagodbe oka definirana sjajnošću površine kolnika. Primjena prihvatljivih vrijednosti razine i jednolikosti luminacije površine kolnika, uz odgovarajuće ograničenje blještanja, opće je prihvaćena. Mjerila kvalitete rasvjete cesta za motorni promet koja trebaju jamčiti dobru vidljivost i određenu kvalitetu vidne udobnosti su:

- razina sjajnosti površine kolnika
- jednolikost sjajnosti površine kolnika
- razina rasvjetljenosti okoline ceste
- ograničenje blještanja
- spektralni sastav izvora svjetlosti
- vizualno i optičko vođenje

U cestovnoj se rasvjeti općenito mora koristiti jedan od sljedećih rasporeda izvora svjetlosti: centralni, jednostrani, dvostrani (izvori paralelno), dvostrani (izvori naizmjenično), kombinirani (centralni i dvostrani), osni (nosive žice poprečno na cestu) i osni (nosive žice uzdužno na cestu). Kako se ceste međusobno razlikuju po prometnom značenju, lokaciji,

količini i gustoći te dopuštenoj brzini prometa, građevinskim dimenzijama i ostalom, tako ni njihova rasvjeta ne mora biti ista te se uvode klase javne rasvjete. Stoga je utvrđeno nekoliko klasa cestovne rasvjete u zavisnosti od sljedećih utjecajnih čimbenika:

- prometna razina ceste
- količina i gustoća prometa
- razina prometnog opterećenja ceste (složenost prometa)
- jednosmjerni, odnosno dvosmjerni promet
- razina opremljenosti ceste prometnom signalizacijom (npr. prometna svjetla)

Rasvjeta cestovnih tunela mora udovoljavati svim zahtjevima dobre vidljivosti i vidne udobnosti. To osobito vrijedi za rasvjetu unutarne zone tunela u vožnji danju, odnosno za cijeli tunel pri vožnji noću. Sprečavanje efekta "crnog otvora" i "crnog okvira" uvjetuje da razina rasvjete u tunelu i ona na cesti (ispred i iza ulaza u tunel) danju i noću bude u strogo utvrđenim odnosima. Proces normalne vidne prilagodbe pri vožnji tunelom zahtjeva postupno povećanje, odnosno postupno smanjenje rasvjetljenosti uzduž tunela kako bi taj proces bio usklađen sa sposobnošću prilagodbe oka vozača. Za dva uobičajena standardna poprečna profila tunela preporučuju se sljedeće vrste rasporeda izvora svjetlosti: centralni, polucentralni, centralno dvostrani, bočno jednostrani, bočno dvostrani i kombinirani. Osnovni pristup klasifikaciji rasvjete tunela temelji se na zahtjevu dobre vidne karakteristike i udobnosti u vožnji tunelom danju te je tunelima s težim uvjetima prometa potrebno pridodati i osjetno višu razinu kvalitete njihove rasvjete. Klasifikacija rasvjete tunela se ponajprije odnosi na rasvjetu tunela pri vožnji danju. Određena se klasa rasvjete tunela određuje brzinom prometa te gustoćom i vrstom prometa.

Posebnim mjestima smatraju se površine i prostori koji svojom konfiguracijom, prometnim režimom ili drugim svojstvima zahtjevaju poseban način postupanja pri odabiru geometrije rasvjete. Jedan od osnovnih zahtjeva sigurnosti u cestovnom prometu je vidljivost na svakom dijelu prometne površine u svako doba dana i noći. U skladu s time, utvrđena su i određena specifična mjerila kvalitete takve rasvjete:

- razina horizontalne rasvjetljenosti površine kolnika
- razina vertikalne rasvjetljenosti pješaka
- jednolikost horizontalne rasvjetljenosti površine kolnika

- razina polucilindrične rasvjetljenosti pješaka

Rasvjeta cesta i prostora uglavnom ili isključivo za pješake razvrstana je u sedam klasa. Najviša klasa P1 u pravilu se odnosi na sve ulice i prostore na čiju se kvalitetu rasvjete, a sa svrhom stvaranja atraktivnog urbanog ambijenta, postavljaju relativno visoki zahtjevi. Klase rasvjete P5, P6 i P7 treba primjeniti na ulice i prostore u kojima su pješaci poprilično sigurni i na kojima ima malo kriminalnih djela. Preporuke se odnose na ulice i prostore namijenjene pješacima i biciklistima.

Svjetlosno zagađenje je svaka nepotrebna, nekorisna emisija svjetlosti u prostor izvan zone koju je potrebno osvijetliti, a do koje dolazi zbog uporabe neekoloških rasvjetnih tijela, većinom još i nepravilno postavljenih. Noću, iznad horizonta, manjih i većih naselja uzdižu se oblaci narančasto-bijelo-žute boje svjetlosti javne i druge rasvjete koju neekološki, nekontrolirano i štetno prema nebu isijavaju neekološka rasvjetna tijela. Jedna od posljedica svjetlosnog zagađenja je smanjena sigurnost u prometu. Svjetlosno zagađenje smeta vozačima zbog blještanja koje prouzrokuje. Zbog blještanja svjetla u oči smanjuje se osjetljivost na kontrast, oštrina i brzina zapažanja, što su vrlo bitni čimbenici sigurnosti prometa. Uz podatak da su ekološka rasvjetna tijela kvalitetnija, jeftinija i da troše manje struje uz veći postotak iskorištene energije, osvjetljavanje cesta, ulica, trgova neekološkim rasvjetnim tijelima je apsurdno.

Sve prometnice i nogostupi grada ne zahtijevaju istu razinu rasvjetljenosti tijekom noći. Uvođenjem sustava regulacije rasvjete moguće je optimizirati javnu rasvjetu tako da se u kasnim noćnim satima smanji razina osvijetljenosti prometnica. Korištenjem sofisticiranijih sustava regulacije moguće je postići uštede u radu i do 50%. Važna preporuka za sve gradove i općine jest uspostava baze podataka koja sadržava sve tehno-ekonomske parametre kao i lokacije (pozicije stupova) - registar javne rasvjete.

POPIS LITERATURE

1. Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
2. Krajcar, Slavko; Šribar, Aljoša: Svjetlotehničke veličine i jedinice (FER - nastavni materijal za predmet Električna rasvjeta, 2015./2016. akademska godina)
http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ElRasvjeta_rasvjeta_2%5B2%5D.pdf
3. Krajcar, Slavko; Šribar, Aljoša: Izvori svjetlosti (FER - nastavni materijal za predmet Električna rasvjeta, 2015./2016. akademska godina)
http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/ElRasvjeta_rasvjeta_3%5B2%5D.pdf
4. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=59121>
5. <http://www.gradimo.hr/clanak/led-ndash-svjetlo-buducnosti/24040>
6. <http://www.prometna-signalizacija.com/oprema-cestec/cestovna-rasvjeta/>
7. <http://www.prometna-signalizacija.com/oprema-cestec/tunelska-rasvjeta/>
8. Što je svjetlosno zagađenje? (Ozone plus <http://www.ozoneplus.hr/>)
<http://www.ozoneplus.hr/web/Svjetlosnozagadjenje.pdf>
9. Suvremena energetska učinkovita javna rasvjeta (Regionalna energetska agencija sjeverozapadne Hrvatske: završni projekt)
http://www.regea.org/assets/files/objavilismo/rasvjeta_final.pdf

POPIS KRATICA

| | |
|-------|------------------------------------|
| NAV | Visokotlačna natrijeva žarulja |
| HQL | Visokotlačna živina žarulja |
| HQI | Visokotlačna metalhalogena žarulja |
| SOX-E | Niskotlačna natrijeva cijev |

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja..... | 5 |
| Slika 2. Zračenje koje emitira izvor svjetla | 5 |
| Slika 3. Različiti izvori svjetlosti jednake jakosti, ali različite luminacije | 7 |
| Slika 4. Visokotlačna natrijeva žarulja (NAV)..... | 9 |
| Slika 5. Visokotlačna živina žarulja (HQL) | 10 |
| Slika 6. HQL žarulja u prozirnom cjevastom balonu (T izvedba)..... | 11 |
| Slika 7. LED žarulja | 13 |
| Slika 8. Centralni raspored izvora svjetlosti | 19 |
| Slika 9. Jednostrani raspored izvora svjetlosti | 20 |
| Slika 10. Dvostrani raspored izvora svjetlosti..... | 21 |
| Slika 11. Kombinirani raspored izvora svjetlosti | 21 |
| Slika 12. Osni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama poprečno na cestu | 22 |
| Slika 13. Osni raspored izvora svjetlosti s nosivim žicama uzdužno na os ceste | 23 |
| Slika 14. Centralni raspored rasvjete u tunelu | 30 |
| Slika 15. Rasvjeta na produžetku tangente na simetralu ceste | 36 |
| Slika 16. Svjetlosno zagađenje | 42 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Klase cestovne rasvjete i pripadajući utjecajni čimbenici klasifikacije | 24 |
| Tablica 2. Utjecajni čimbenici klasifikacije cestovne rasvjete | 24 |
| Tablica 3. Utjecajni čimbenici klasifikacije rasvjete tunela | 31 |
| Tablica 4. Klase rasvjete tunela i pripadajući utjecajni čimbenici klasifikacije | 32 |
| Tablica 5. Klase javne rasvjete prostora i cesta za pješački promet | 40 |
| Tablica 6. Čimbenici klase javne rasvjete prostora i cesta za pješački promet..... | 40 |